

2축 휨과 축력을 받는 鐵筋콘크리트

원형斷面柱의 變形性狀에 關한 解析的研究

An Analytical Study on the Deformation Behavior of the Reinforced Concrete Circular Section Column under Bi-Axial Bending Moment and Axial Force

鄭 鎬 喆* 宋 泰 翺** 金 善 子*** 夫 拓 量****
Jeong, Ho Chul Song, Tae Kyoung Kim, Sun Ja Boo, Cheong Yang

<ABSTRACT>

This paper is a study on the deformation behavior of the reinforced concrete circular section column carrying bi-axial bending moment and axial force.

That is, this is to clarify the deformation behavior of the reinforced concrete circular section column carrying bi-axial bending moment and axial force by analytic methods.

The deformation behavior of circular section column under bi-axial and uni-axial bending moment and axial force are compare with those of a square section column under the same conditions.

Those of circular section column under bi-axial bending moment are decreased as compared with those of circular section column under uni-axial bending moment.

The results mentioned above are the same under the axial force of 7tons and 11tons.

1. 서 론

건물의 모서리기둥과 옆축기둥, 기둥간격이 종횡으로 불규칙한 내부기둥등은 장기하중시 2방향에서의 응력을 동시에 받게되고 또한 건물의 고층화에 따른 기둥부재, 특히 하층의 외부기둥은 고축력과 함께 휨모멘트, 전단력 등을 받게 됨으로써 풍하중, 지진력 등의 수평력이 가산되게 되면 단지 기둥만의 2방향 문제로 끝나지않고 건물전체의 역학적 성상에까지 문제가 확장된다.⁽¹⁾ 그러나 지금까지 철근콘크리트 기둥의 구조설계에서는 응력계산이나 단면산정 등을 할 때 연직하중 및 풍하중, 지진력 등의 수평력을 직교 2방향으로 분리하여

고려하고 있고⁽²⁾⁽³⁾, 극한강도에서 2방향응력을 동시에 고려한 설계법을 채택한 경우도 최근의 일이다⁽⁴⁾.

따라서 철근콘크리트 기둥의 연직하중과 풍하중, 지진력 등의 외력을 직교 2방향으로 분리하여 독립적으로 고려하는 구조설계법은 합리적인 설계라고 말할 수는 없고, 또한 축력의 영향으로 인해 고층건물의 하층기둥은 상층기둥에 비해 보다 큰 기둥단면을 필요로 하게되므로, 철근콘크리트 기둥의 구조설계시 2축방향의 응력 및 축력의 영향을 함께 고려함으로써 외력의 조건을 실제상태에 가깝도록 하여야만 기둥의 역학적 성상을 보다 정확히 파악할 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서는 2축휨과 축력을 받는 철근콘크리트 원형단면 기둥의 변형성상에 관한 연구의 일환으로 원형단면 기둥을 해석 모델로 선정하고 축력의 대소에 따른 축력과 1

* 전남대학교 대학원 박사과정
** 전남대학교 대학원 석사과정
*** 목포전문대학 부교수, 공학박사
**** 경희원, 전남대학교 교수, 공학박사

축침모멘트, 축력과 2축침모멘트를 받는 철근 콘크리트 기둥의 변형성상을 비교 고찰하므로써 원형단면 기둥에서의 축력과 휨모멘트가 철근콘크리트 기둥의 역학적인 성상에 끼치는 영향을 밝혀서 보다 합리적인 원형단면 철근 콘크리트 기둥의 구조설계를 위한 자료를 제공하고자 한다.

2. 해석방법

2.1 해석상의 가정

- 가. 휨모멘트를 받은 부재의 휨단면은 부재가 된 후에도 평면을 유지한다.
- 나. 축방향력의 변동, 변형에 의한 부가 휨모멘트의 영향은 무시한다.
- 다. 콘크리트의 응력-변형도 관계는 그림 1과 같이 가정한다. 인장축은 인장응력 $\sigma_t = 1.8 \sqrt{\sigma_b} \text{ kg/cm}^2$ 까지 유지하고 그 이상의 응력에서는 균열이 생겼다고 보아 응력을 0으로 하고 균열이 생길 때 까지는 인장응력에 대하여 콘크리트는 항상 탄성체라고 가정한다.
- 라. 철근의 응력-변형도 관계는 그림 2와 같이 정식화한 것을 이용한다.

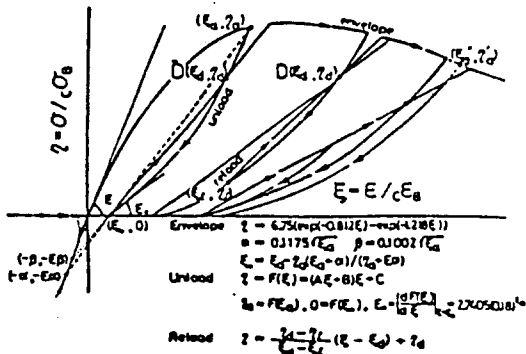


그림 1. Assumed stress-strain hysteresis rules of concrete

2.2 해석방법

- 가. 요소분할과 해석방법
직경 15cm의 원형단면을 등심원으로 한 반경을 7분할하고 다시 중심에서 방사상으로 그

림 3과 같이 분할하여 콘크리트를 508요소, 철근을 12요소로 하며 각 요소는 각각 독립된 하나의 요소로 하였다. 분할단위중에서는 변형도와 응력은 똑같은 것이라고 보고 요소의 변형도중분을 가정하였다. 가정한 소재의 응력-변형도 관계로부터 응력중분을 계산하고, 단면 내의 힘의 비값으로부터 수렴계산에 의하여 단면의 응력-변형도 상태를 결정하는 방법으로 해석하였다.

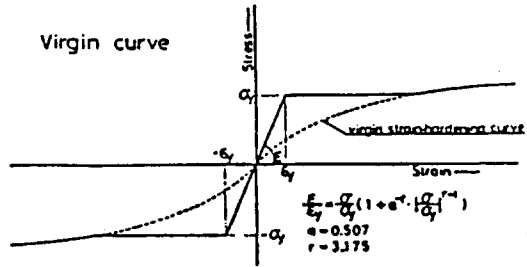


그림 2. Assumed stress-strain hysteresis rules of reinforcing bar

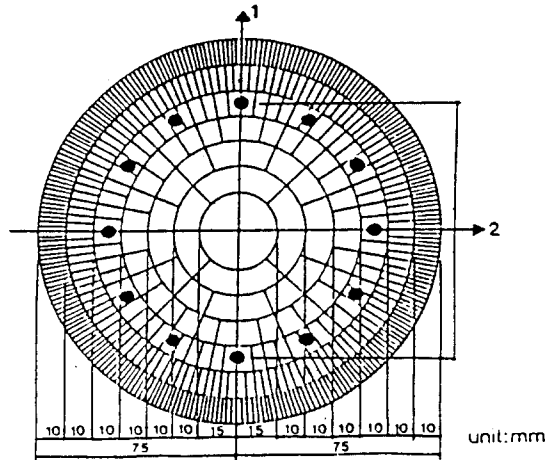


그림 3. Partitioning of cross section

- 나. 힘의 비값 방정식
단면의 각 요소의 변형도는
$$\epsilon_{ij} = \epsilon_0 + \varphi_1 \cdot l_i - \varphi_2 \cdot l_j \text{ -----(1)}$$
여기서 ϵ_{ij} : (i, j)요소의 변형도
 ϵ_0 : 단면중심에 있어서의(좌표원점)변형도
 φ_1 : 축1에 관한 곡률
 φ_2 : 축2에 관한 곡률

표 2. Analytical Results

CYCLE	BIAXIAL LOADING												UNIAXIAL LOADING														
	N - α						N - γ						N - α						N - γ								
	M t - cm	ϕ $\times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$	σ $\text{t} - \text{cm}^2$	σ $\text{t} - \text{cm}^2$	ϕ $\times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$	σ $\text{t} - \text{cm}^2$	M t - cm	ϕ $\times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$	σ $\text{t} - \text{cm}^2$	σ $\text{t} - \text{cm}^2$	ϕ $\times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$	σ $\text{t} - \text{cm}^2$	M t - cm	ϕ $\times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$	σ $\text{t} - \text{cm}^2$	σ $\text{t} - \text{cm}^2$	ϕ $\times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$	σ $\text{t} - \text{cm}^2$	M t - cm	ϕ $\times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$	σ $\text{t} - \text{cm}^2$	σ $\text{t} - \text{cm}^2$					
1	M1	-38.821	+1.89	0.142	2.931	+52.163	-1.89	0.174	2.130	+59.726	+1.89	-38.821	-1.89	0.186	1.656	-38.821	-1.89	0.141	2.108	-52.694	+1.90	0.173	2.108	-59.031	+1.90	0.186	1.734
	M1	-38.347	-1.90	0.142	2.942	-51.226	-1.86	0.174	2.050	-56.953	-1.86	-38.347	-1.86	0.187	1.617	-38.347	-1.86	0.139	2.132	-52.415	-1.88	0.173	2.132	-59.780	-1.88	0.185	1.699
	M2	-38.669		0.141	2.928	+51.892		0.175	2.075	+57.470		-38.669		0.189	1.629	-38.669		0.133	2.051	-51.723	+1.89	0.165	2.111	-57.451	+1.89	0.175	1.678
2	M1	-38.356	-1.94	0.145	2.987	-52.295	-1.94	0.178	2.102	-57.814	-1.94	-38.356	-1.94	0.190	1.629	-38.356	-1.94	0.134	2.098	-51.328	-1.87	0.164	2.095	-57.375	-1.87	0.175	1.648
	M1	+66.955	+5.34	0.209	4.000	+86.999	+5.34	0.294	4.000	+93.636	+5.34	+66.955	+5.34	0.195	4.000	+67.055	+5.34	0.208	4.000	+87.227	+5.34	0.205	4.000	+83.934	+5.34	0.197	4.000
	M2	+56.811		0.189	4.000	+76.395	-5.23	0.207	4.000	-82.742	-5.23	+56.811		0.192	3.731	-67.600	-5.33	0.205	4.000	-81.896	-5.33	0.205	4.000	-82.228	-5.33	0.195	3.949
3	M1	-56.854		0.205	4.000	+78.842		0.204	4.000	+85.729		-56.854		0.187	3.671	-65.934	-5.35	0.174	4.000	-85.216	-5.35	0.189	3.976	-91.518	-5.35	0.183	3.954
	M2	-56.811		0.173	4.000	-77.077		0.207	4.000	-82.099		-56.811		0.187	3.671	-65.934	-5.34	0.169	4.000	-85.244	-5.34	0.189	3.981	-90.077	-5.34	0.180	3.866
	M1	-65.709	+10.69	0.195	4.000	+85.046	+10.12	0.134	4.000	+86.428	+8.86	-65.709	+10.69	0.117	4.000	-70.220	-10.77	0.188	4.000	-83.713	-7.66	0.177	4.000	+85.080	+6.42	0.179	4.000
4	M1	-52.465	-8.93	0.072	4.000	-74.217	-10.56	0.126	4.000	-69.664	-8.93	-52.465	-8.93	0.073	3.904	-69.391	-11.09	0.190	4.000	-90.113	-8.53	0.169	4.000	+84.988	-6.55	0.178	3.953
	M2	-56.288		0.194	4.000	+74.590		0.141	4.000	+72.465		-56.288		0.092	2.851	-68.991	+15.97	0.160	4.000	-87.325	+11.81	0.111	4.000	+87.233	+11.81	0.090	4.000
	M1	-50.455	-12.59	0.000	4.000	-61.578	-12.59	0.044	3.976	-77.812	-12.59	-50.455	-12.59	0.013	1.680	-67.605	-15.96	0.181	4.000	-86.995	-13.07	0.085	4.000	+83.988	-13.07	0.082	4.000
5	M1	-58.518	+16.18	0.185	4.000	+67.566	+14.25	0.056	4.000	+45.537	+6.61	-58.518	+16.18	0.042	2.851	-63.482	-10.74	0.134	4.000	-85.984	+10.74	0.111	3.995	+88.460	+10.74	0.093	3.956
	M2	-54.770		0.1550	4.000	+61.965		0.1550	4.000	+28.635		-54.770		0.097	1.423	-63.134	+16.14	0.118	4.000	-80.017	+16.14	0.060	4.000	+74.356	+16.14	0.072	4.000
	M1	-49.551	-12.59	0.000	4.000	-61.578	-12.59	0.044	3.976	-77.812	-12.59	-49.551	-12.59	0.013	1.680	-67.605	-15.96	0.181	4.000	-86.995	-13.07	0.085	4.000	+83.988	-13.07	0.082	4.000
6	M1	-53.308	+21.33	0.158	4.257	+46.281	+9.47	0.074	3.440	+35.676	+21.33	-53.308	+21.33	0.040	2.329	-68.895	-21.08	0.131	4.385	-78.099	+15.79	0.043	4.000	+72.196	+15.79	0.068	4.000
	M2	-51.318	-15.58	0.000	4.329	-41.329	-15.58	0.000	3.201	-43.618	-15.58	-51.318	-15.58	0.040	2.599	-68.880	-21.24	0.153	4.461	-80.544	-16.99	0.044	4.239	-72.009	-14.36	0.082	4.136
	M1	-50.934		0.171	4.693	+45.302	+14.52	0.000	0.698	-9.141	+19.53	-50.934		0.040	2.085	-65.167	+21.34	0.095	4.565	-72.337	+21.34	0.014	4.393	+57.999	+15.64	0.181	4.048
6	M1	-55.620	+25.97	0.171	4.693	+45.302	+14.52	0.000	0.698	-9.141	+19.53	-55.620	+25.97	0.040	2.523	-71.924	+29.83	0.095	4.933	-70.990	+29.83	0.012	4.410	+40.875	+29.83	0.000	3.983
	M2	-53.084		0.171	4.693	+45.302	+14.52	0.000	0.698	-9.141	+19.53	-53.084		0.040	2.523	-71.924	+29.83	0.095	4.933	-70.990	+29.83	0.012	4.410	+40.875	+29.83	0.000	3.983
	M1	-7.189	+19.53	0.000	3.345	-9.742	+19.53	0.000	0.698	-9.141	+19.53	-7.189	+19.53	0.040	2.085	-65.167	+21.34	0.095	4.565	-72.337	+21.34	0.014	4.393	+57.999	+15.64	0.181	4.048
6	M1	-34.869		0.025	4.547	+33.992		0.000	2.189	+34.325		-34.869		0.040	1.397	-72.254	+39.81	0.015	5.949	-63.567	+31.79	0.091	4.669	+44.434	+43.95	0.000	3.542
	M2	-0.931		0.000	1.639	-0.386		0.000	0.318	-0.773		-0.931		0.040	1.397	-72.254	+39.81	0.015	5.949	-63.567	+31.79	0.091	4.669	+44.434	+43.95	0.000	3.542
	M1	-71.074	+37.72	0.000	4.344	+51.942	+40.16	0.000	3.772	+54.098	+40.16	-71.074	+37.72	0.040	3.191	-8.348	-35.37	0.000	2.593	-8.295	-35.37	0.199	0.940	-15.677	-35.37	0.000	-5.040
6	M1	-5.973	+32.22	0.000	1.639	-9.985	+32.22	0.000	0.338	-10.008	+32.22	-5.973	+32.22	0.040	1.612												

$(l_i, l_j) : (i, j)$ 요소의 중심의 좌표

(1)식을 증분형으로 표시하면

$$\Delta \varepsilon_{ij} = \Delta \varepsilon_0 + \Delta \varphi_1 \cdot l_i - \Delta \varphi_2 \cdot l_j \quad \text{---(2)}$$

응력도중분 $\Delta \sigma_{ij}$ 와 변형도중분 $\Delta \varepsilon_{ij}$ 와의 관계는

$$\Delta \sigma_{ij} = \Delta \sigma_{ij}(\Delta \varepsilon_{ij}) \quad \text{---(3)}$$

축력, 휨모멘트의 비김방정식은

$$\Delta N = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta \sigma_{ij} \cdot \alpha_{ij} \quad \text{---(4)}$$

$$\Delta M_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta \sigma_{ij} \cdot \alpha_{ij} \cdot l_i \quad \text{---(5)}$$

$$\Delta M_2 = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta \sigma_{ij} \cdot \alpha_{ij} \cdot l_j \quad \text{---(6)}$$

여기서 ΔN : 축력중분

ΔM_1 : 축1에 관한 휨모멘트중분

ΔM_2 : 축2에 관한 휨모멘트중분

α_{ij} : (i, j) 요소의 단면적

m : 원주방향의 분할수

n : 반경방향의 분할수

위의 (2)와 (4)~(6)식에서 ($\Delta \varphi_1, \Delta \varphi_2, \Delta \varepsilon_0$)와 ($\Delta M_1, \Delta M_2, \Delta N$)의 관계가 구해진다.

다. 해석에 사용한 수치

해석에 사용한 수치는 재료실험 결과에서 얻은 수치의 평균수치를 사용하였고⁽⁵⁾⁻⁽⁹⁾ 그림 4와 표1에 표시한바와 같다. 또 축력의 대

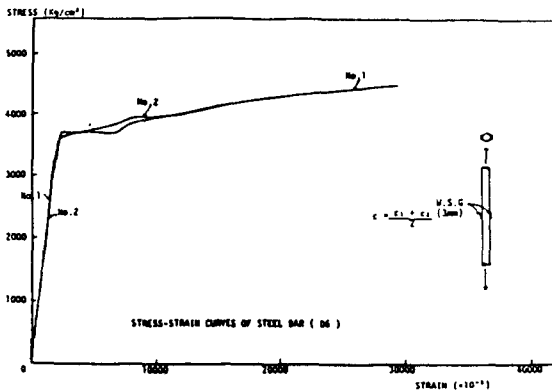


그림 4. Stress-strain curves of steel bar

소에따른 영향을 검토키위한 축력의 크기는 약 $0.2F_c$ 인 7t인 경우와 약 $0.3F_c$ 인 11t을 가할때를 가정하여 계산하였다.

라. 수치계산 방법 및 해석결과

본 해석에서는 실험에 의한 변형제어와 같이 $\Delta N (=0), \Delta \varphi_1, \Delta \varphi_2$ 를 입력하여 $\Delta \varepsilon_0, \Delta M_1, \Delta M_2$ 를 구하는 방법으로 해석하였다. 축력과 축방향 변형과의 관계에서는 실험결과의 $\Delta(\varphi_1/L), \Delta(\varphi_2/L)$ 을 1축과 2축에 대한 곡률중분 $\Delta \varphi_1, \Delta \varphi_2$ 로써 입력하여 단면중심의 변형도중분 $\Delta \varepsilon_0$, 1축, 2축에 대한 휨모멘트중분 $\Delta M_1, \Delta M_2$ 를 구하였다. 즉, 본 해석에서는 축력중분 ΔN 과 1축, 2축에 대한 곡률중분 $\Delta \varphi_1, \Delta \varphi_2$ 를 주고 단면중심의 변형도중분

표 1. Results of concrete cylinder test, Mechanical properties of reinforcing bars

Specimens	F_c (kg/cm ²)	ε_c ($\times 10^{-6}$)	F_t (kg/cm ²)	$E_c(1/3)$ ($\times 10^5$ kg/cm ²)
CB	1	200	2,500	29.3
	2	194	2,767	20.4
	3	204	2,420	27.2
	AV.	199	2,562	25.6
CU	1	204	2,300	27.6
	2	200	2,040	27.6
	3	199	2,567	27.6
	AV.	201	2,302	27.6
Total ave.	200	2,432	26.6	1.66

	F_y (kg/cm ²)	$F_y(max)$ (kg/cm ²)	E_s ($\times 10^8$ kg/cm ²)	Elongation ratio(%)
D6	1	4,125	5,453	1.753
	2	3,922	5,172	1.592
	3	3,969	5,141	1.639
	AV.	4,005	5,255	1.678
4 ϕ (Spiral)	1	*3,725	5,486	1.627
	2	*3,766	5,527	1.529
	3	*3,548	5,235	1.510
	AV.	3,678	5,416	1.555

CB : 2축휨을 받는 원형 기둥

CU : 1축휨을 받는 원형 기둥

$\Delta \varepsilon_0$ 를 가정하여 각 요소의 변형도중분을 계산하고, 외력과의 비김으로부터 수렴계산에 의하여 $\Delta \varepsilon_0$ 를 결정하였다. 수렴계산은 외력과의 불평형축력이 축방향 내력의 5/1,000가 되었을 때 중지하였고 이 때에 잔류 불평형 축력은 다음의 단계에서 외력에 가산함으로써 해제시켜 오차가 축적되지 않도록 하였다.

해석의 Flow Chart를 그림 5에 표시한다. 수치계산은 동경공업대학 종합정보 처리센터(나가스다분실) HITAC M-180시스템을 사용하였다.

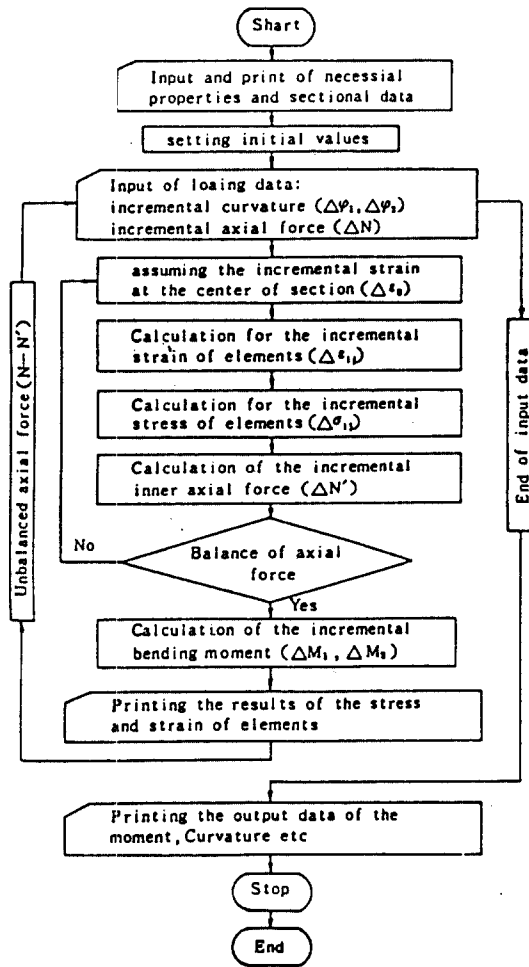


그림 5. Flow Chart

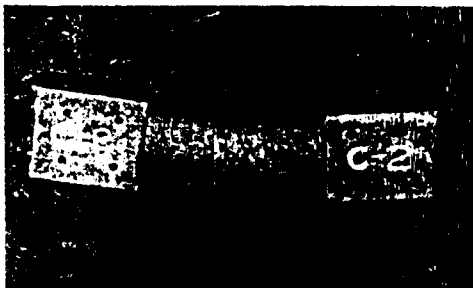


사진 1. 실험결과의 시험체 모습(Cb)

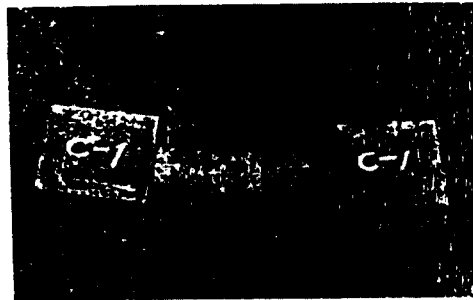


사진 2. 실험결과의 시험체 모습(Cu)

3. 해석결과 및 고찰

3.1 휨모멘트

(1) $N=0t$

1축휨을 받을때의 휨모멘트는 그림 6과 표 2를 보면 1사이클에서 $38.882t \cdot cm$ 로 2축휨인 경우보다 작지만 거의 비슷하게 나타났으며 2사이클에서 크게 증가하고 3사이클에서 최대치인 $70.290t \cdot cm$ 로 나타난 후 4~5사이클에서 약간 감소하고 6사이클에서 상당한 감소폭을 나타낸다.

2축휨을 받을때의 휨모멘트는 그림 9와 그림 12, 표 2를 보면 1사이클에서는 $38.891t \cdot cm$ 로 나타났으며, 2사이클에서 최대치인 $66.955t \cdot cm$ 로 나타난 후 3~5사이클에서 점차 감소하는데 감소폭은 완만하게 나타났으며 6사이클에서는 감소폭이 크게 나타난다.

1축휨인 경우와 2축휨인 경우를 비교하면 1사이클에서는 거의 비슷한 값을 나타내나 2사이클에서는 1축휨쪽이 보다 큰값을 나타내고 이같은 현상은 마지막 사이클 까지 계속된다. 각 사이클의 감소폭도 1축휨보다 2축휨쪽이 다소 크게 나타났다.

(2) $N=7t$

1축휨을 받을때의 휨모멘트는 그림 7과 표 2를 보면 1사이클에서는 $N=0t$ 인 경우보다 35.52%가 증가한 $52.694t \cdot cm$ 나타났으며 2사이클에서 큰 증가를하여 $87.227t \cdot cm$ 로 나타난 후 3사이클의 1st사이클에서 최대치인 $90.113t \cdot cm$ 나타났다. 4~5사이클에서 감소를

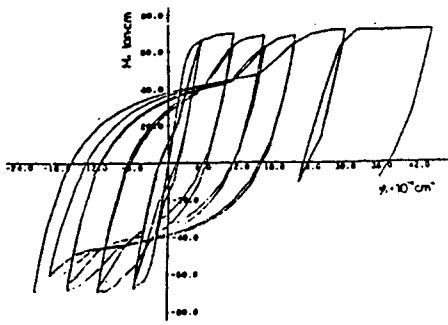


그림 6. 1축휨 $M-\phi(N=0t)$

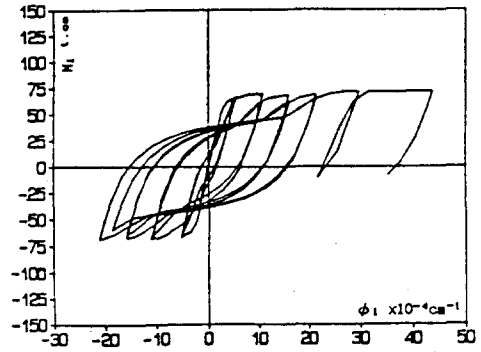


그림 9. 2축휨 $M_1-\phi_1(N=0t)$

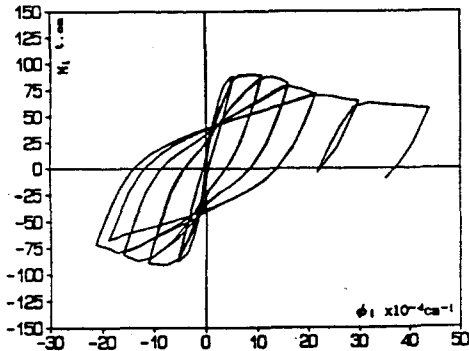


그림 7. 1축휨 $M-\phi(N=7t)$

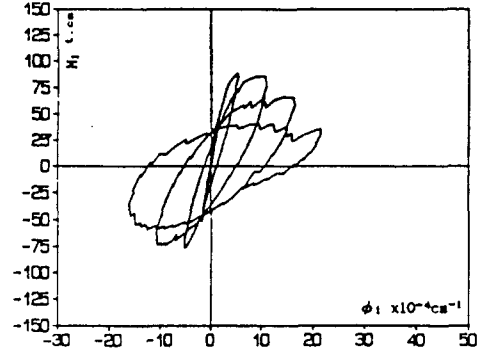


그림 10. 2축휨 $M_1-\phi_1(N=7t)$

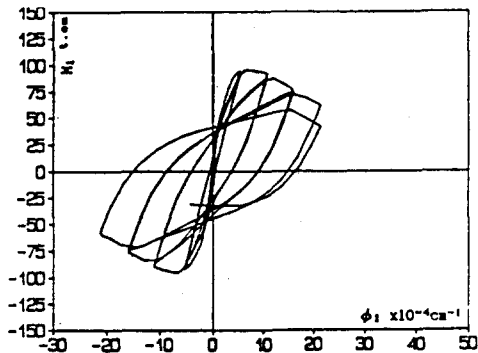


그림 8. 1축휨 $M-\phi(N=11t)$

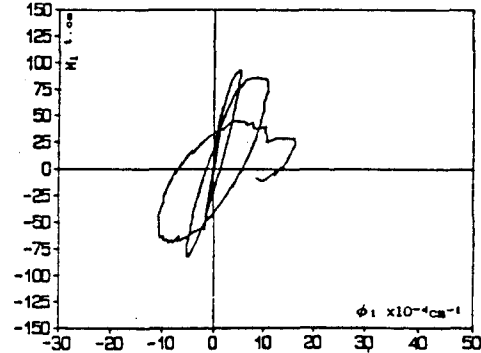


그림 11. 2축휨 $M_1-\phi_1(N=11t)$

나타내는데 감소폭은 완만하게 나타났으며 6 사이클에서 상당한 감소폭을 나타내며 $N=0t$ 인 경우와 비교하면 1사이클에서 5사이클까지는 $N=7t$ 인 경우가 $N=0t$ 인 경우에 비해 휨모멘트가 크게 나타났으며, 또한 감소폭도 크게 나타났다.

2축휨을 받을때의 휨모멘트는 그림 10과 그림 13, 표 2를 보면 $52.295t \cdot cm$ 로 $N=0t$ 인 경우에 비해 34.47%가 증가하였고 2사이클에서 $86.969t \cdot cm$ 로 최대치를 나타낸 후 3사이클까지는 감소가 완만하게 나타나다 4, 5사이클로 갈수록 감소폭이 증가하고 있다. $N=0t$ 인 경우

와 비교하면 1사이클부터 4사이클까지는 $N=7t$ 인 경우가 $N=0t$ 인 경우에 비해 큰 값을 나타내고 5사이클 이후는 작은 값을 나타내고 있다.

(3) $N=11t$

1축힘을 받을때의 휨모멘트는 그림 8과 표 2를 보면 1사이클에서는 $N=0t$, $N=7t$ 인 경우보다 큰값인 $59.031t \cdot \text{cm}$ 로 나타났다. 2사이클에서는 큰 증가를하여 $93.984t \cdot \text{cm}$ 를 나타냈으며 3사이클의 1st사이클에서 최대치인 $95.080t \cdot \text{cm}$ 를 나타낸 후 4사이클까지는 규칙적인

감소를 보인 반면 5사이클부터 불규칙적인 감소를 나타냈다. $N=0t$, $N=7t$ 인 경우와 비교하면 $N=0t$ 인 경우에 대해서는 1사이클에서 5사이클의 1st사이클까지는 더 큰값을 나타내고 5사이클의 2nd사이클부터는 작은값을 나타낸다. $N=7t$ 인 경우에 대해서는 1사이클에서 3사이클까지는 큰값을 나타내고 4사이클부터는 작은 값을 나타낸다.

2축힘을 받을때의 휨모멘트는 그림 11과 그림 14, 표 2를 보면 1사이클에서는 $N=0t$, $N=7t$ 인 경우보다 큰값인 $58.726t \cdot \text{cm}$ 를 나타냈다. 2사이클의 1st사이클에서 최대치인 $93.636t \cdot \text{cm}$ 를 나타낸 후 3사이클부터 감소되는데 4사이클이후에는 감소폭이 크게 나타나고 있다. $N=0t$, $N=7t$ 인 경우와 비교하면 $N=0t$ 인 경우에 대해서는 1사이클에서 3사이클까지는 큰값을 나타내고 4사이클부터는 작은값을 나타낸다. $N=7t$ 인 경우에 대해서는 1사이클에서 3사이클의 1st사이클까지는 큰값을 나타내고 3사이클 2nd사이클부터는 작은값을 나타낸다.

이상의 내용을 검토해 보면 철근콘크리트 원형기둥의 휨모멘트는

축력비가 높아짐에 따라 증가하다 감소하는데 반복재하 횟수가 적으면 더 높은 축력비에서, 반복재하 횟수가 많아지면 더 낮은 축력비에서 감소하고, 2축힘과 축력을 받는 경우가 1축힘과 축력을 받는 경우에 비해 더 낮은 축

력비에서 감소하며, 2축힘과 축력을 받는 경우가 1축힘과 축력을 받는 경우에 비해 더 적은 휨모멘트값을 나타내고 감소상황은 크다.

3.2 변형량

(1) $N=0t$

1축힘을 받을때의 변형량은 그림 6과 표 2를 보면 1사이클에서 최대 $1.90 \times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$ 를 나타냈으며 2사이클부터 점점 증가해 가는데 그 증가량은 상당히 규칙적이며 6사이클에서 상당히 불규칙적인 값을 나타내고 있다.

2축힘을 받을때의 변형량은 그림 9와 그림 12, 표 2를 보면 1사이클에서 최대 $1.94 \times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$ 로써 1축힘인 경우보다 약간 높게 나타났으며 2사이클부터 점점 증가해 가는데 그 증가량은 4사이클까지는 상당히 규칙적으로 나타났으며 4사이클 이후는 불규칙적인 값을 나타내고 있다.

1축힘인 경우와 2축힘인 경우를 비교하면 1축힘쪽이 보다 규칙적으로 증가하고 있고 2축힘쪽은 다소 불규칙적이며 1, 2, 4사이클에서 2축힘쪽이 크게 나타났으며 3, 5, 6사이클에서는 1축힘쪽이 크게 나타났다.

(2) $N=7t$

1축힘을 받을때의 변형량은 그림 7과 표 2를 보면 1사이클에서는 $N=0t$ 인 경우와 같은 값을 나타냈으며 2사이클부터 증가해 가는데 그 증가량은 대체로 불규칙적으로 나타났다.

2축힘을 받을때의 변형량은 그림 10과 그림 13, 표 2를 보면 1사이클에서는 $N=0t$ 인 경우와 같은 값을 나타냈으며 2사이클부터 점차 증가해 가는데 3사이클까지는 규칙적인 증가를 보이다가 4사이클부터 다소 불규칙적인 증가를 보이고 있다.

1축힘인 경우와 2축힘인 경우를 비교하면 1축힘쪽이 대체로 규칙적이고 1, 2사이클에서는 2축힘쪽이 큰값을 나타내다가 3사이클 이후에는 1축힘쪽이 더 큰값을 나타내고 있다.

(3) $N=11t$

1축힘을 받을때의 변형량은 그림 8과 표 2

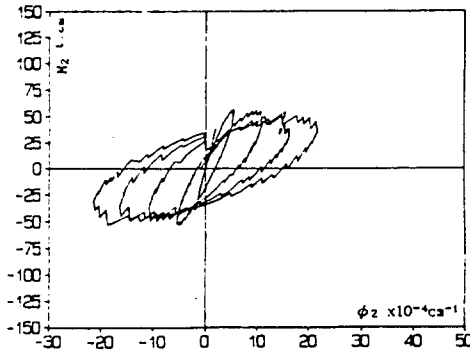


그림 12. 2축뿔 $M_2-\phi_2(N=0t)$

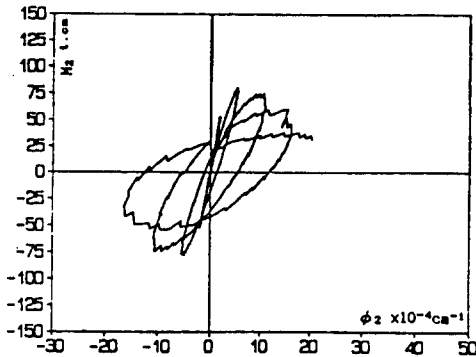


그림 13. 2축뿔 $M_2-\phi_2(N=7t)$

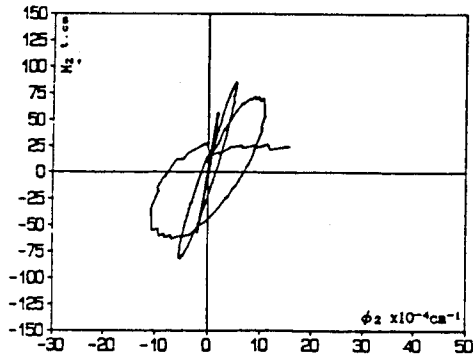


그림 14. 2축뿔 $M_2-\phi_2(N=11t)$

를 보면 1사이클에서는 $N=0t$, $N=7t$ 인 경우와 같은 값을 나타냈으며 2사이클부터 증가해가는데 4사이클까지는 대체로 규칙적인 증가량을 보이고 있으며 제하후에도 변형량은 점점 커져 상당량의 변형증가를 일으킨 후 감소하기 시작한다. $N=0t$, $N=7t$ 인 때와 비교하면 대

체로 $N=0t$, $N=7t$, $N=11t$ 의 순서로 변형량은 점차 적은 값을 나타내고 있다.

2축뿔을 받을때의 변형량은 그림 11과 그림 14, 표 2를 보면 1사이클에서는 $N=0t$, $N=7t$ 과 비슷하다가 2사이클부터 점차 증가하는데 6사이클 이후부터 불규칙적인 값을 나타내고 있다. $N=0t$, $N=7t$ 인 때와 비교하면 2사이클까지는 서로 비슷하나 3, 4사이클은 더 적은 값을 나타내다 5사이클이후 $N=7t$ 인 경우보다는 크고 $N=0t$ 과는 비슷한 값을 보인다.

1축뿔인 경우와 2축뿔인 경우를 비교하면 1축뿔쪽이 다소 규칙적인 증가를 보인 반면 2축뿔쪽은 증가와 감소를 하므로써 다소 불규칙적이다.

이상의 내용을 검토해 보면 철근콘크리트 원형기둥의 변형량은

초기 변형량은 별로 크지않고 축력이 높아짐에 따라 거의 같은 값을 유지하면서 증가하다 감소하는데 반복재하 횟수가 많아지면 더 낮은 축력비에서 더 큰 감소를 하고, 2축뿔과 축력을 받는 경우가 1축뿔과 축력을 받는 경우에 비해 더 낮은 축력비에서 감소한다.

3.3 복원력

(1) $N=0t$

1축뿔을 받을때의 복원력은 그림 6과 표 2를 보면 1사이클에서는 재하와 제하이력이 거의 일치하고 있으며, 2사이클의 1st사이클에서는 1사이클의 이력을 그대로 추적하면서 모멘트의 증가를 보이고 있다. 그러나 사이클을 더해 갈수록 재하와 제하가 일치하지 않으며 각 사이클의 이력 상황은 규칙적이고 완만한 변화를 보이고 있다.

2축뿔을 받을때의 복원력은 그림 9와 그림 12, 표 2를 보면 1사이클의 재하와 제하이력이 거의 일치한다. 2사이클에서는 1사이클의 재하 경로를 그대로 추적하나 제하경로와 다소 간격을 두고 있다. 3사이클에서는 재하와 제하간격이 더욱 벌어지고 사이클을 더해 갈수록 더 커진다. 전반적으로 재하와 제하이력이 이루는

형태는 각 사이클마다 상당히 규칙적이고 완만한 변화를 나타내고 있다.

1축됨인 경우와 2축됨인 경우를 비교하면 1축됨쪽이 보다 재하와 제하 이력상황이 더 비슷하고 규칙적으로 나타내고 2축됨쪽은 1축됨에 비해서 재하와 제하 이력상황이 다소 불규칙적으로 나타났으나 큰 차이는 없다.

(2) $N=7t$

1축됨을 받을때의 복원력은 그림 7과 표 2를 보면 1사이클에서는 재하와 제하이력이 거의 일치하고 있으며, 2사이클의 재하시는 1사이클의 제하이력을 추적하고 있으나 변형이 증가해 재하와 제하의 간격이 생기고 사이클이 증가해 갈수록 재하와 제하의 이력사이클에 간격이 크게 되고 각 사이클의 이력상황은 완만한 경사를 이루며 변화하고 있다. $N=0t$ 인 경우와 비교하면 $N=0t$ 인 경우가 1사이클에서 완전한 정도로 재하와 제하이력이 비슷하고 2사이클의 재하가 1사이클의 제하이력을 그대로 추적하고 있으며 각 이력사이클의 이력상황이 규칙적이고 완만한 변화를 나타낸 반면 $N=7t$ 인 경우는 1사이클에서 약간의 간격이 발생하여 2사이클부터 재하와 제하의 이력 간격이 벌어지며 약간의 경사를 가지고 각 사이클의 이력상황이 변화하고 있음을 알 수 있다.

2축됨을 받을때의 복원력은 그림 10과 그림 13, 표 2를 보면 1사이클에서 재하와 제하이력이 약간의 간격을 두고 진행하고 있으며 2사이클부터는 점점 더 간격이 벌어져 있다. 3사이클까지는 대체로 규칙적인 변형량 증가를 보이다가 4사이클에서 상당한 변형량을 보이고 있으며 재하 및 제하이력 상황도 상당히 불규칙적이다. $N=0t$ 인 경우와 비교하면 $N=0t$ 인 경우 1사이클의 재하와 제하가 거의 일치하고 각 사이클의 이력상황이 보다 완만한 경사를 가지고 규칙적인 변화를 보인 반면 $N=7t$ 인 경우 1사이클부터 재하와 제하이력사이클에 간격이 생기고 사이클을 더해갈수록 상당한 경사를 갖는 이력상황을 나타내고 있다.

1축됨과 2축됨인 경우를 비교하면 1축됨쪽이 재하와 제하이력사이클에 간격이 적고 규칙적인 이력상황과 완만한 경사를 보인 반면 2

축됨인 경우는 재하와 제하이력사이클에 다소 간격이 벌어진 불규칙적인 이력상황과 변화를 보이고 있다.

(3) $N=11t$

1축됨을 받을때의 복원력은 그림 8, 표 2를 보면 1사이클의 재하와 제하이력이 다소 간격을 두고 있고 사이클을 더해 갈수록 점점 큰 간격을 두고 있다. 또한 각 사이클의 이력형태도 불규칙적인 형상으로 큰 경사를 갖고 변화하고 있다. $N=0t$, $N=7t$ 인 경우와 비교하면 $N=0t$, $N=7t$, $N=11t$ 의 차례로 1사이클의 재하 또는 제하간격이 커지고 이력사이클의 변화형태도 급경사를 나타내며 변화하고 있다.

2축됨을 받을때의 복원력은 그림 11, 그림 14, 표 2를 보면 1사이클의 재하와 제하이력은 상당한 간격을 두고 있고 2사이클부터 점점 더 간격이 커진다. 3사이클에서 갑작스런 간격의 증가와 더불어 이력형태는 큰 변화를 보인 후 불규칙적인 변화를 나타내고 있다. $N=0t$, $N=7t$ 인 경우와 비교하면 $N=0t$, $N=7t$, $N=11t$ 의 경우의 순서로 1사이클의 재하간격과 제하간격이 점점커지고 각 사이클의 이력형태도 점점 불규칙적으로 되며 각 이력사이클의 변화형태도 급격한 경사를 이루고 있다.

1축됨과 2축됨인 경우를 비교하면 두 경우가 모두 불규칙한 이력상황과 급격한 변화를 나타내고 있으나 2축됨쪽이 보다 더 불규칙적이며 급격한 변화를 보이고 있다.

이상의 내용을 검토해 보면 철근콘크리트 원형기둥의 복원력은

1st사이클에서는 축력이 증가해 갈수록 재하와 제하이력사이클에 간격이 커진다. 그러나 그 간격은 크지않고 대부분 2사이클에서 제하이력은 1사이클의 이력을 추적해 나가나 축력이 커질수록 보다 그 간격은 커진다. 사이클을 더해갈수록 축력의 증가에 따라 제하이력과 제하이력의 차이가 점차 크게되고 이력형태는 점점 더 불규칙적으로 되어가며 각 사이클사이의 경사도 점차 급하게 된다.

본 연구에서는 2축휨과 축력을 동시에 받는 철근콘크리트 원형단면 기둥의 변형성상을 파악하므로써 철근콘크리트 원형단면 기둥의 역학적 성상에 끼치는 2축휨과 축력의 영향을 밝히는 것을 목적으로 기존의 실험결과를 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 휨모멘트는 축력비가 높아짐에 따라 증가하다 감소하는데 반복재하 횟수가 적으면 더 높은 축력비에서, 반복재하 횟수가 많아지면 더 낮은 축력비에서 감소하고, 2축휨과 축력을 받는 경우가 1축휨과 축력을 받는 경우에 비해 더 낮은 축력비에서 감소하고, 더 적은 휨모멘트값을 나타내고 감소상황은 크다.
- (2) 변형량은 축력비가 높아짐에 따라 거의 같은 값을 유지하다 감소하는데 반복재하 횟수가 적으면 더 높은 축력비에서 완만한 감소를, 반복재하 횟수가 많아지면 더 낮은 축력비에서 더 큰 감소를 하고, 2축휨과 축력을 받는 경우가 1축휨과 축력을 받는 경우에 비해 더 낮은 축력비에서 감소하고, 초기 반복재하에선 거의 같으나 반복재하 횟수가 많아지면 다소 적은 값을 나타내고 증감상황은 보다 불규칙적이다.
- (3) 복원력은 축력비가 낮으면 이력형태는 안정적이고 규칙적이나 축력비가 높아짐에 따라 불안정하고 불규칙하게 되는데, 2축휨과 축력을 받는 경우가 1축휨과 축력을 받는 경우에 비해 더 낮은 축력비에서 불안정하고 불규칙적인 현상을 나타내고 있으며, 축력비가 낮으면 더 많은 반복재하로 축력비가 높아지면 더 적은 반복재하로 불안정하고 불규칙한 현상이 나타난다.

- (1) 清水 郎, “鐵筋コン크리트造平面骨組の地震應答に及ぼす柱の軸力變動の影響”, 東京工業大學大學院 總合理工學科 社會開發專攻 修士論文, 1986
- (2) 日本建築學會, “鐵筋コン크리트 構造計算規準・同解説”, 1982
- (3) 大韓建築學會, “鐵筋콘크리트構造計算規準・同解説 및 同解説”, 1982
- (4) A.C.I, “Building Code Requirements for Reinforced Concrete(A.C.I. 318-89)”
- (5) 부척량, “鐵筋콘크리트 圓形斷面柱의 二軸 휨 變形性狀에 關한 研究(1)-單純휨을 받는 圓形斷面柱의 實驗的 研究”, 大韓建築學會誌, 1982. 11~12, p.77~84
- (6) 부척량, “鐵筋콘크리트 圓形斷面柱의 二軸 휨 變形性狀에 關한 研究(2)-單純휨을 받는 圓形斷面柱의 解析的 研究”, 大韓建築學會誌, 1983. 9~10, p.21~25
- (7) 부척량, 김선자, “2축휨과 축력을 받는 철근콘크리트 기둥의 변형성상에 대한 해석적연구”, 大韓建築學會論文集, 1991. 12, p.217~227
- (8) 부척량 외2인, “鐵筋コン크리트 圓形斷面柱の二軸曲げ變形性狀に關する 研究(圓形斷面柱の二軸曲げ實驗)”, 日本建築學會 學術講演梗概集, 1983.
- (9) 부척량 외3인, “Study on the Restoring Force Characteristics of R.C Column to Bi-directional Deflection History”, U.S.A Proceeding of the Eight World Conference on Earthquake Engineering, Vol., 1984
- (10) 부척량 외6인, “高強度せん斷 補強筋を用いたR.C柱に關する 實驗研究. その1. その2, 日本建築學會 學術講演梗概集, 1987.
- (11) A.E.Aktan, D.A.Pecknold, “Response of a Reinforced Concrete Section to Two-Dimensional Curvature Histories, ACI JOURNAL, May, 1974, p.246~259